

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

А.И. Попеляев, Л.В. Яворович, П.И. Федотов

Научный руководитель: к.ф.-м.н., в.н.с. А.А. Беспалько

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: Lusi@tpu.ru

**USING INTEGRAL CHARACTERISTIC OF DYNAMIC SERIES OF ELECTROMAGNETIC
EMISSION FOR CONTROL OF DIELECTRIC MATERIALS DEFORMATION AND DESTRUCTION**

A.I. Popelyaev, L.V. Yavorovich, P.I. Fedotov

Scientific Supervisor: PhD. A.A. Bespal'ko

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin avenue, 30, 634050

E-mail: Lusi@tpu.ru

***Annotation.** Processing algorithm for calculating of dynamic series integral characteristics of electromagnetic emission amplitude and intensity obtained from experiments is suggested. It is possible to interpret the deformation properties by changes in the integral characteristics and use the algorithm for working out a method of predestruction control.*

Электромагнитная эмиссия, возникающая вследствие механоэлектрических преобразований в диэлектрических материалах, включая горные породы, является предметом исследований в течение ряда лет. В настоящее время ведутся работы по обнаружению предвестников разрушения диэлектрических материалов, включая горные породы, по характеристикам их электромагнитной эмиссии (ЭМЭ). В основе таких исследований лежит экспериментально доказанное увеличение электромагнитной активности на этапе предразрушения исследуемых образцов, что соответствует нагрузке $0,8-0,9 P_{\text{пред}}$ [1]. Однако, при изменении напряженно-деформированного состояния, как для диэлектрических образцов, так и для горных пород, процесс механоэлектрических преобразований происходит на всех этапах деформирования, начиная с зарождения микротрещин и заканчивая разрушением. В зависимости от этапа деформирования в характеристиках ЭМЭ присутствуют свои особенности [2]. Одним из способов выявления основных закономерностей механоэлектрических преобразований в горных породах является физическое моделирование в лабораторных условиях. Физическое моделирование механоэлектрических преобразований в лабораторных условиях проводится на прессе ИП-500 путем одноосного сжатия образцов горных пород до разрушения ($P_{\text{пред}}$). Характеристики ЭМЭ в процессе нагружения измеряются с использованием прибора РЕМС1 (регистратор электромагнитных сигналов), разработанного в ТПУ. Объектом исследования служили образцы горной породы.

Для анализа процессов деформирования и разрушения исследуемых образцов использовали интегральные характеристики временных рядов, полученные на основе амплитуды ЭМЭ в широкой

полосе частот $x^{III}(t)$ и интенсивности ЭМЭ $x^{CЧЕТ}(t)$ Временные ряды можно записать в виде множеств:

$$X^{III} = \{x_i^{III}\}, \quad (1)$$

$$X^{CЧЕТ} = \{x_i^{CЧЕТ}\}, \quad (2)$$

где $i = 1 \dots N$, N - целое вещественное число, $N = \frac{T}{\Delta t}$, T - интервал времени от приложения нагрузки

до разрушения лабораторного образца, Δt - промежуток времени опроса информационных сигналов датчиков ($\Delta t = 1$ с).

С целью получения гладких функций $f^{III}(t)$ и $f^{CЧЕТ}(t)$, отражающих основные особенности дискретных временных рядов X^{III} и $X^{CЧЕТ}$, используем кубический сплайн вида [3]:

$$S_i(t) = M_i \frac{(t_{i+1} - t)^3}{6h_i} + M_{i+1} \frac{(t - t_i)^3}{6h_i} + \left(x_i - M_i \frac{h_i^2}{6}\right) \frac{t_{i+1} - t}{h_i} + \left(x_{i+1} - M_{i+1} \frac{h_i^2}{6}\right) \frac{t - t_i}{h_i}, \quad (3)$$

где $h_i = t_{i+1} - t_i, i = 1, \dots, N - 1$.

Введем понятие удельного значения амплитуды ЭМЭ $\bar{e}(t)$, равное отношению амплитуды ЭМЭ для широкой полосы к количеству импульсов в любой текущий момент времени t :

$$\bar{e}(t) = \frac{f^{III}(t)}{f^{CЧЕТ}(t)} \quad (4)$$

Одним из качественных признаков изменения состояния процесса разрушения является скорость изменения $\bar{e}(t)$ или изменение модуля первой производной $\bar{e}(t)$:

$$e_1(t) = \left| \frac{d\bar{e}(t)}{dt} \right| \quad (5)$$

Используя (5), можно вычислить интегральные характеристики временных рядов, по изменениям которых можно интерпретировать свойства процесса деформирования и разрушения.

Интегральную характеристику, пропорциональную изменению энергетике процесса подготовки разрушения и самого факта разрушения исследуемого образца определяли по выражению:

$$y_3(s) = \int_0^s e_1(t) \cdot dt \quad (6)$$

Прочность образцов на сжатие $P_{пред}$ составила: для образца №18 – 185 кН, для образца №9 – 295 кН. По величине $P_{пред}$ эти образцы вошли в разные группы прочности: образец №18 - среднепрочный, образец №9 – высокопрочный. На рис. 1 видно, что этапы изменения напряженно-деформированного состояния образцов, на которых происходит формирование трещин и деструктивных зон отчетливо прослеживаются. Так для образца №18 этап формирования очага разрушения приходится на нагрузку от 0,3 до 0,5 $P_{пред}$, а для образца №9 - на нагрузку от 0,6 до 0,8 $P_{пред}$.

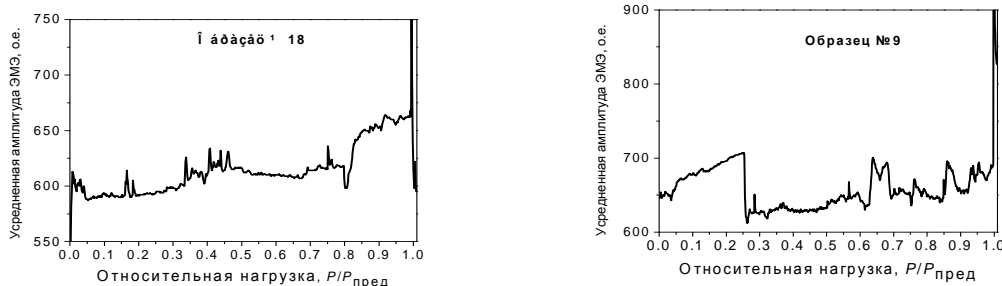


Рис. 1. Зависимость усредненной амплитуды ЭМЭ в полосе частот 1-100 кГц от нагрузки при одноосном сжатии образцов горной породы различной прочности

На рис. 2 приведены результаты обработки экспериментальных наблюдений усредненных значений амплитуды и интенсивности электромагнитной эмиссии по приведенному выше алгоритму. На зависимости, полученной по формуле (6), наблюдаются отклонения от линейного тренда в процессе подготовки разрушения образца. Сравнение экспериментальных и расчетных данных показало, что эти

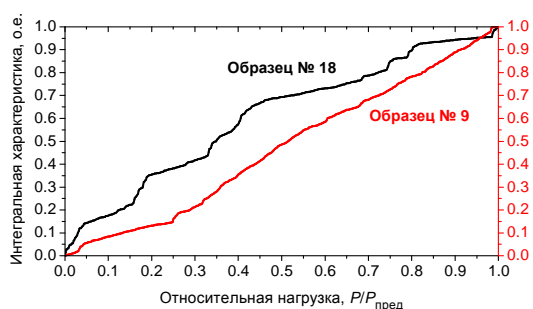


Рис.2. Расчетные значения интегральной характеристики для образцов горных пород №18 и №9

отклонения соответствуют этапам подготовки разрушения образца.

Таким образом, предложенный алгоритм обработки позволяет вычислить интегральные характеристики полученных экспериментально временных рядов амплитуды и интенсивности электромагнитной эмиссии, по изменениям которых можно интерпретировать свойства процесса деформирования и разрушения, и может быть использован при разработке метода контроля процесса подготовки разрушения и прогноза

удароопасности по параметрам механоэлектрических преобразований в горных породах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности и гранта РФФИ № 14-08-00395

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспалько А.А., Гольд Р.М., Яворович Л.В. Дацко Д.И. Влияние текстурных особенностей образцов алевролита на параметры электромагнитного сигнала при акустическом возбуждении // ФТПРПИ.- 2002.- № 2.- С.27-31.
2. Беспалько А.А., Яворович Л.В., Гольд Р.М., Дацко Д.И. Возбуждение электромагнитного излучения в слоистых горных породах при акустическом воздействии // ФТПРПИ.- 2003.- №2.- С.8-14.
3. Квасов Б.И. Методы изометрической аппроксимации сплайнами. М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2006. – 461 с.